

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

04 FEB 2005

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. Februar 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/015163 A2(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C23C 14/18,  
14/58, C22C 49/14[DE/DE]; Augustenfelderstrasse 18, 85221 Dachau (DE).  
SATZGER, Wilhelm [DE/DE]; Hagedornstrasse 13,  
80804 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/007972

(74) Anwälte: BRÜCKNER, Ingo usw.; DaimlerChrysler AG,  
Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546  
Stuttgart (DE).(22) Internationales Anmeldedatum:  
22. Juli 2003 (22.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).(30) Angaben zur Priorität:  
102 35 818.4 5. August 2002 (05.08.2002) DE

## Veröffentlicht:

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE];  
Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

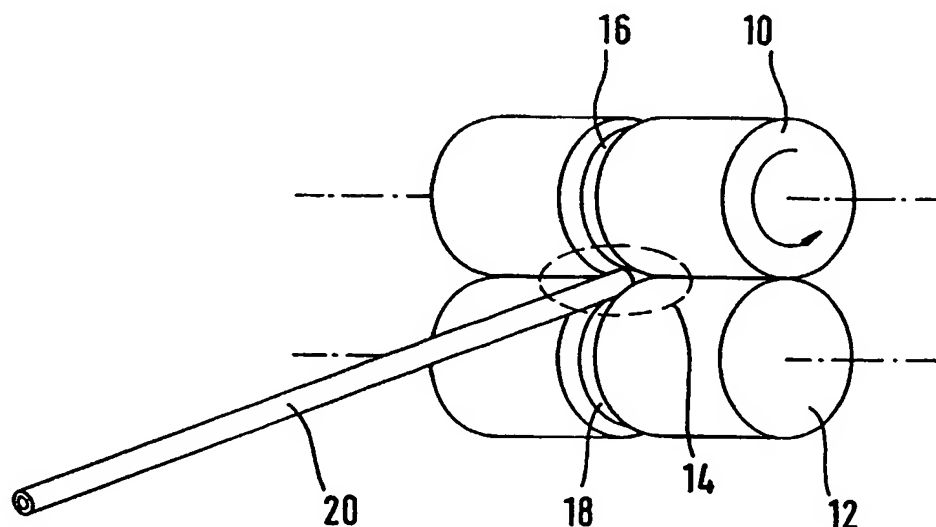
(72) Erfinder; und

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAMBERG, Joachim

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF A CERAMIC FIBER WITH A METAL COATING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER KERAMIKFASER MIT EINER METALLBESCHICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for the production of a ceramic fiber (22) with a metal coating (24) reinforcing fiber (20). According to the invention, the metal coating (24) is transferred to an external form which is polygonal in diameter enabling cavity-free bonding of adjacent reinforcing fibers (20) both next to and on top of each other. .

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Keramikfaser (22) mit einer Metallbeschichtung (24) - Verstärkungsfaser (20). Nach der Erfindung wird die Metallbeschichtung (24) in eine im Querschnitt polygonale Aussenform überführt, die einen hohlraumfreien Verbund aus aneinanderliegenden Verstärkungsfasern (20) neben- und übereinander ermöglicht.



WO 2004/015163 A2

## Verfahren zur Herstellung einer Keramikfaser mit einer Metallbeschichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Keramikfaser mit einer Metallbeschichtung gemäß der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art.

Derartige Keramikfasern mit einer Metallbeschichtung werden zur Herstellung von faserverstärkten Folien, Blechen oder Bändern mit einer Metallmatrix verwendet, wie sie beispielsweise in der US-PS 4,733,816 und der US-PS 4,499,156 offenbart sind. Als Fasern werden Siliziumkarbidfasern, siliziumbeschichtete Siliziumkarbidfasern, siliziumkarbidbeschichtete Borfasern oder borkarbidbeschichtete Borfasern verwendet. Als Matrixmaterial stehen ausschließlich Titanbasislegierungen zur Verfügung.

Die letztlich aus Fasern verstärkten Folien, Blechen oder Bändern entstehenden Bauteile werden auch als Metal-Matrix-Components (MMCs) bezeichnet.

Die bekannten Verstärkungsfasern aus Keramikfaser mit einer Metallbeschichtung haben im Schnitt eine kreisförmige Außenform. Hierbei ist sowohl die Keramikfaser im Schnitt kreisförmig als auch die auf die Keramikfaser aufgebrachte Metallschicht kreisringförmig. Derartige Verstärkungsfasern werden auf Basisteile gewickelt, derart, dass mehrere Verstärkungsfasern nebeneinander als auch übereinander aufgebracht werden, wobei Hohlräume zwischen den Verstärkungsfasern entstehen. Nach dem Aufbringen der Verstärkungsfaser wird das Ganze konsolidiert, und zwar durch heißisostatisches Heißpressen. Dies führt zu Volumenstromschrumpfung, die Hohlräume verschwinden und führt hierbei zu der damit verbundenen Faserwanderung. Bei dreidimensionalen Strukturen sind damit Faserbelastungen, wie Knickung und Bruch, und unterschiedliche Faserverschiebungen, wie Fasermisorientierung verbunden. Die gleichförmige Auenanordnung der Fasern ist jedoch für eine hohe Bruchsicherheit und Wechselfestigkeit von großer Bedeutung. Die bekannten Konstruktionen mit den Verstärkungsfasern führen daher unter anderem zu Ermdungsrisen, geringerer Bruchsicherheit und einer verkürzten Lebenszeit, insbesondere bei den aus den Verstärkungsfasern hergestellten Metal-Matrix-Components (MMCs).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer Keramikfaser mit einer Metallbeschichtung gemäß der im Oberbegriff des Anspruches 1 angegebenen Art derart weiterzubilden, dass unter Vermeidung der genannten Nachteile ein kostengünstiges Verfahren angegeben wird, bei dem die Verstärkungsfasern in eine vorbestimmte exakte Anordnung zueinander auf einfache Weise gebracht werden können.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruches 1 in Verbindung mit seinen Oberbegriffsmerkmalen gelöst.

Die Unteransprüche bilden vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es Außenformen gibt, die ein hohlraum-freies Aneinanderordnen von mehreren Verstärkungsfasern neben- und übereinander ermöglichen. Hierdurch können anschließende Pressvorgänge ohne die Hohlraum beseitigende Volumenschrumpfung durchgeführt werden, wodurch es zu keiner Faserwanderung und somit zu einer exakten Faseranordnung über den Querschnitt beispielsweise eines Metal-Matrix-Components (MMCs) kommt.

Nach der Erfindung wird die Metallbeschichtung auf der Keramikfaser in eine im Querschnitt polygonale Außenform überführt, die einen hohlraum freien Verbund aus aneinanderliegenden Verstärkungsfasern neben- und übereinander ermöglicht.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird die polygonale Außenform durch Kaltwalzen auf die Metallschicht aufgeprägt. Beispielsweise kann jeder Fläche eine Walze zugeordnet sein oder es sind profilierte Walzen vorgesehen, die zusammen das Polygonprofil bilden. Vor allem ist dabei das Polygonprofil der Außenform der Verstärkungsfaser im Schnitt hexagonal ausgeführt.

Vorzugsweise wird die Keramikfaser zunächst mit einer Metallbeschichtung versehen und anschließend die polygonale Außenform aufgeprägt. Hierdurch können herkömmliche Verstärkungsfasern verwendet werden, da diese erst nachträglich die polygonale Außenform aufgeprägt bekommen. Die herkömmlichen Verstärkungsfasern weisen in der Regel eine im Schnitt runde Außenform auf. Ebenso haben die Keramikfasern eine runde Außenform.

Die Metallbeschichtung ist vor dem Aufprägen mit einer über den Umfang im wesentlichen konstanten Dicke versehen.

Diese wird insbesondere in einem PVD-Verfahren (physical vapor deposition) auf die Keramikfaser oder durch Aufwalzen eines Metalledrahtes auf die glühende Keramikfaser unter einer Schutzgasatmosphäre aufgebracht.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird als Metallbeschichtung Titan, insbesondere Ti64, verwendet.

Insbesondere umfassen die Keramikfaser im wesentlichen die Elemente Silizium (Si), Kohlenstoff (C), Bor (B), Sauerstoff (O), Aluminium (Al) und/oder Stickstoff (N).

Die Verstärkungsfasern werden vor allem für die Herstellung von Metall-Matrix-Composites (MMCs) verwendet.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden die Verstärkungsfasern zur Herstellung eines Halbzeugs verwendet. Hierbei wird die Keramikfaser ohne Hohlraum auf ein Basisteil gewickelt. Dies ist durch die polygonale Außenform ohne weiteres möglich. Der Wickelprozess mit der polygonalen Außenform der Verstärkungsfasern erzeugt eine identische Nutvorlage für die nächste

Wickellage. Hierdurch ergeben sich auch bei Schwankungen der Metallschicht maßlich exakte Anlageflächen. Es erfolgt eine geometrisch exakte Faseranordnung ohne Fehlerakkumulation. Zudem ist ein leicht überprüfbares Wickeln in Nuten – spiegelnde Oberfläche – ohne weiteres möglich.

Damit auch die unterste Lage der Verstärkungsfasern auf dem Basisteil exakt angeordnet werden kann, weist das Basisteil Nuten an ihrer Oberfläche auf, in welche die Keramikfasern eingebracht werden.

Nach dem Aufwickeln der Verstärkungsfasern auf das Basisteil erfolgt ein heißisostatisches Pressverfahren. Durch die hohlraumfreie Wicklung kann das heißisostatische Pressverfahren

ren ohne Volumenschrumpfung erfolgen. Hierdurch kommt es zu keiner Faserwanderung, wodurch wiederum eine exakte und vorbestimmte Faseranordnung auf dem Basisteil ermöglicht wird.

Auf das Basisteil werden insbesondere mehrere Lagen von nebeneinander angeordneten Verstärkungsfasern aufgebracht. Hierbei kann die Steigungshöhe beispielsweise 0,4 mm betragen, wodurch nur eine halbe Faserlänge pro Lage notwendig ist – Lmax-Forderung –.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird auf die freien Enden des gewickelten Basisteils ein Abschlußteil, insbesondere aus dem Metall, das die Metallschicht der Verstärkungsfaser bildet, aufgeschrumpft. Zudem kann die äußere Lage mit einer weiteren Metalllage, wie beispielsweise einem aufgeschrumpften Metallring bedeckt werden.

Vorzugsweise ist dabei das Basisteil als rotationssymmetrischer Körper ausgebildet. Die Fasersprünge sind beispielsweise bei einer runden Faser 30 µm und bei einer Verstärkungsfaser nach der Erfindung, beispielsweise mit hexagonaler Außenform 100 µm.

Die Enden der Verstärkungsfasern laufen unter 45° an axialen stirnflächen-/oberflächennah aus. Durch anschließendes Kugelstrahlen führt dies zu Druck-Es am Faserende.

Die Verstärkungsfaser kann gemäß einer Ausführungsform der Erfindung dadurch hergestellt werden, dass eine Keramikfaser und zwei Metallfolien durch eine Doppelwalze mit Polygonprofil für die Außenform geführt wird.

Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der Beschreibung, mehrere Ausführungsformen der Erfindung im Zusammenhang mit der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische, perspektivische Ansicht von zwei Walzen und einer Verstärkungsfaser;

Fig. 2 einen Querschnitt durch die Walzen mit der Verstärkungsfaser von Fig. 1;

- Fig. 3 ein Basisteil mit Nuten, auf das die Verstärkungsfaser gewickelt wird;
- Fig. 4 die Verstärkungsfaser vor und nach dem Aufprägen einer polygonalen Außenform und
- Fig. 5 mehrere Walzen, die auf eine Verstärkungsfaser eine polygonale Außenform aufprägen gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung.

In Fig. 1 sind zwei Walzen 10 und 12 schematisch dargestellt. Die Walzen 10 und 12 sind einander entsprechend aufgebaut und weisen im Walzbereich 14 jeweils einander zugeordnete polygonale Vertiefungen 16 und 18 auf. Die beiden einander zugeordneten polygonalen Vertiefungen 16 und 18 prägen einer Verstärkungsfaser 20 eine hexagonale Außenform auf, in einer eine Keramikfaser 22 umgebende Metallschicht 24, siehe Fig. 2.

Die Verstärkungsfaser 20 besteht aus der Keramikfaser 22 und der Metallbeschichtung 24. Die Keramikfaser 22 hat vor dem Aufprägen der polygonalen Außenform eine im Schnitt runde Außenform sowie darauf eine kreisringförmige Metallbeschichtung 24. Die Metallbeschichtung 24 ist mittels eines PVD-Verfahrens aufgebracht worden. Bei der Keramikfaser 22 handelt es sich um eine Siliziumkarbidfaser. Bei der Metallbeschichtung 24 handelt es sich um eine Titanlegierung. Beispielsweise weist die Keramikfaser 22 einen Durchmesser von 140 µm auf mit einer Metallbeschichtung 24 von 30 µm, siehe Fig. 4.

Nach dem Umformen der Verstärkungsfaser 20 in eine hexagonale Außenform, siehe Fig. 4, weist die Länge a ca. 110 µm und die Länge b ca. 190 µm auf.

Nach dem Aufprägen der hexagonalen Außenform wird die Verstärkungsfaser 20 auf ein rotationssymmetrisches Basisteil 26 gewickelt, siehe Fig. 3. Die Oberfläche des Basisteils 26 weist Nuten 28 auf, die an die polygonale Außenform derart angepasst sind, dass die Hälfte der Verstärkungsfaser 20 in die Nut 28 eingebracht werden kann. Die Nut 28 verläuft an der Oberfläche spiralförmig, sodass eine endlose Wicklung erzeugt werden kann. Ist die erste Lage Verstärkungsfasern 20 entsprechend der Darstellung von Fig. 3 in die Nut 28 eingebracht, wird in die Zwischenräume zwischen benachbarten Verstärkungsfasern 20 eine weitere Lage Verstärkungsfasern 20 eingebracht. Die weitere Lage Verstärkungsfasern 20

liegt dabei unmittelbar und hohlraumfrei an der ersten Lage Verstärkungsfasern 20 sowie an der Oberfläche des Basisteils 26 an. Die Nuten 28 sind im Abstand zueinander spiralförmig in die Oberfläche des Basisteils 26 eingebracht.

Durch das Aufbringen der Verstärkungsfasern 20 in mehreren Lagen auf das Basisteil 26 bildet sich ein hohlraumfreier Verbund aus mehreren neben- und übereinander angeordneten Verstärkungsfasern 20. Anschließend wird der Verbund zusammen mit dem Basisteil heißisostatisch gepresst, wobei es zu keiner Volumenschrumpfung mit den damit verbundenen Nachteilen kommt.

In Fig. 5 ist eine Anordnung aus sechs Walzen 30, 32, 34, 36, 38 und 40 dargestellt. Jede Walze 30 bis 40 ist einer Fläche der polygonalen Außenform der Verstärkungsfasern 20 zugeordnet. Mit Hilfe der Walzen 30 bis 40 wird die Verstärkungsfasern 20 aus einer im Schnitt runden Außenform in eine im Schnitt polygonale Außenform, in diesem Fall hexagonale Außenform, überführt. Hierdurch ergeben sich die oben angesprochenen Vorteile.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Keramikfaser (22) mit einer Metallbeschichtung (24) - Verstärkungsfaser (20) -, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallbeschichtung (24) auf der Keramikfaser (22) in eine im Querschnitt polygonale Außenform überführt wird, die einen hohlraumfreien Verbund aus aneinanderliegenden Verstärkungsfasern (20) neben- und übereinander ermöglicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polygonale Außenform durch Kaltwalzen (10, 12, 30 bis 40) auf die Metallbeschichtung (24) aufgeprägt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polygonale Außenform im Schnitt hexagonal ausgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keramikfaser (22) zunächst mit einer Metallbeschichtung (24) versehen und anschließend die polygonale Außenform aufgeprägt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallbeschichtung (24) vor dem Aufprägen eine über den Umfang im wesentlichen konstante Dicke aufweist.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallbeschichtung (24) in einem PVD-Verfahren (physical vapor deposition) auf die Keramikfaser (22) oder durch Aufwalzen eines Metalledrahtes auf die glühende Keramikfaser (22) unter einer Schutzgasatmosphäre aufgebracht wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Metallbeschichtung (24) Titan, insbesondere Ti-6Al-4V, verwendet wird.



8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keramikfaser (22) im wesentlichen die Elemente Silium (Si), Kohlenstoff (C), Bor (B), Sauerstoff (O), Aluminium (Al) und /oder Stickstoff (N) umfassen.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstärkungsfaser (20) für die Herstellung von Metal-Matrix-Components (26) (MMCs) verwendet wird.
10. Verfahren zur Herstellung eines Halbzeugs mit einer Verstärkungsfaser (20), die nach einem der vorangehenden Ansprüche hergestellt worden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keramikfaser (22) ohne Hohlraum auf ein Basisteil (26) gewickelt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Basisteil (26) Nuten (28) an ihrer Oberfläche aufweist, in welche die Keramikfasern (22) eingebracht werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Aufwickeln der Verstärkungsfasern (20) auf das Basisteil (26) ein heissisostatisches Pressverfahren erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf das Basisteil (26) mehrere Lagen von nebeneinander angeordneten Verstärkungsfasern (20) aufgebracht werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf die freien Enden des gewickelten Basisteils (26) ein Abschlussteil aufgeschumpft wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Basisteil (26) als rotationssymmetrische Körper ausgebildet ist.

1 / 3

Fig.1

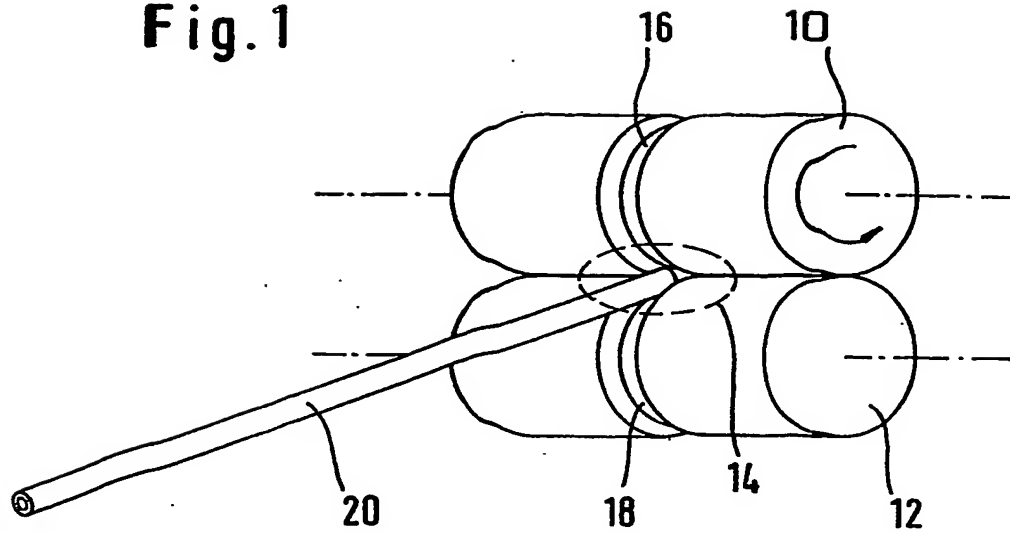
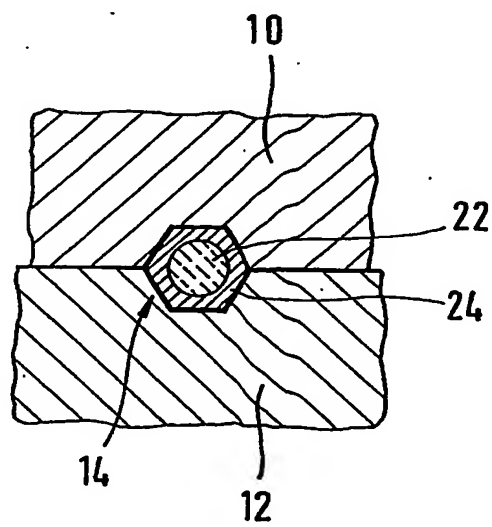


Fig.2



2 / 3

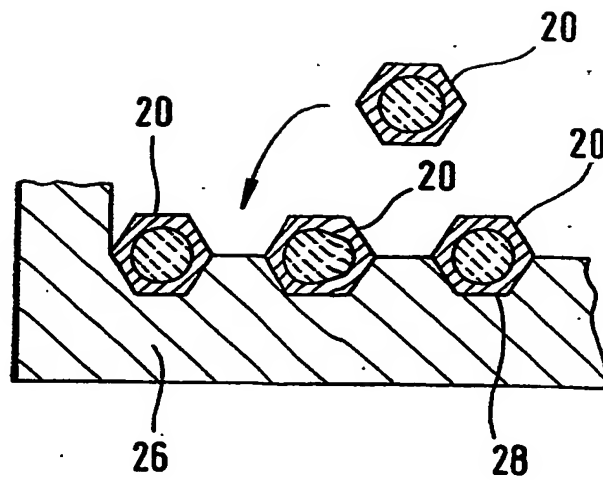


Fig. 3

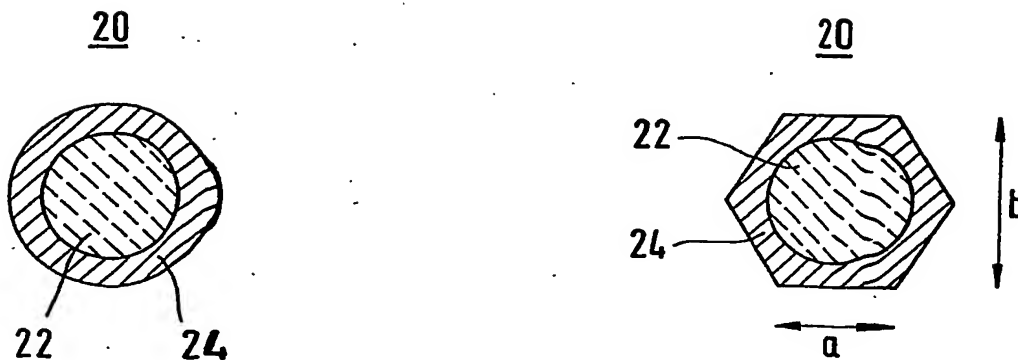


Fig. 4

3 / 3

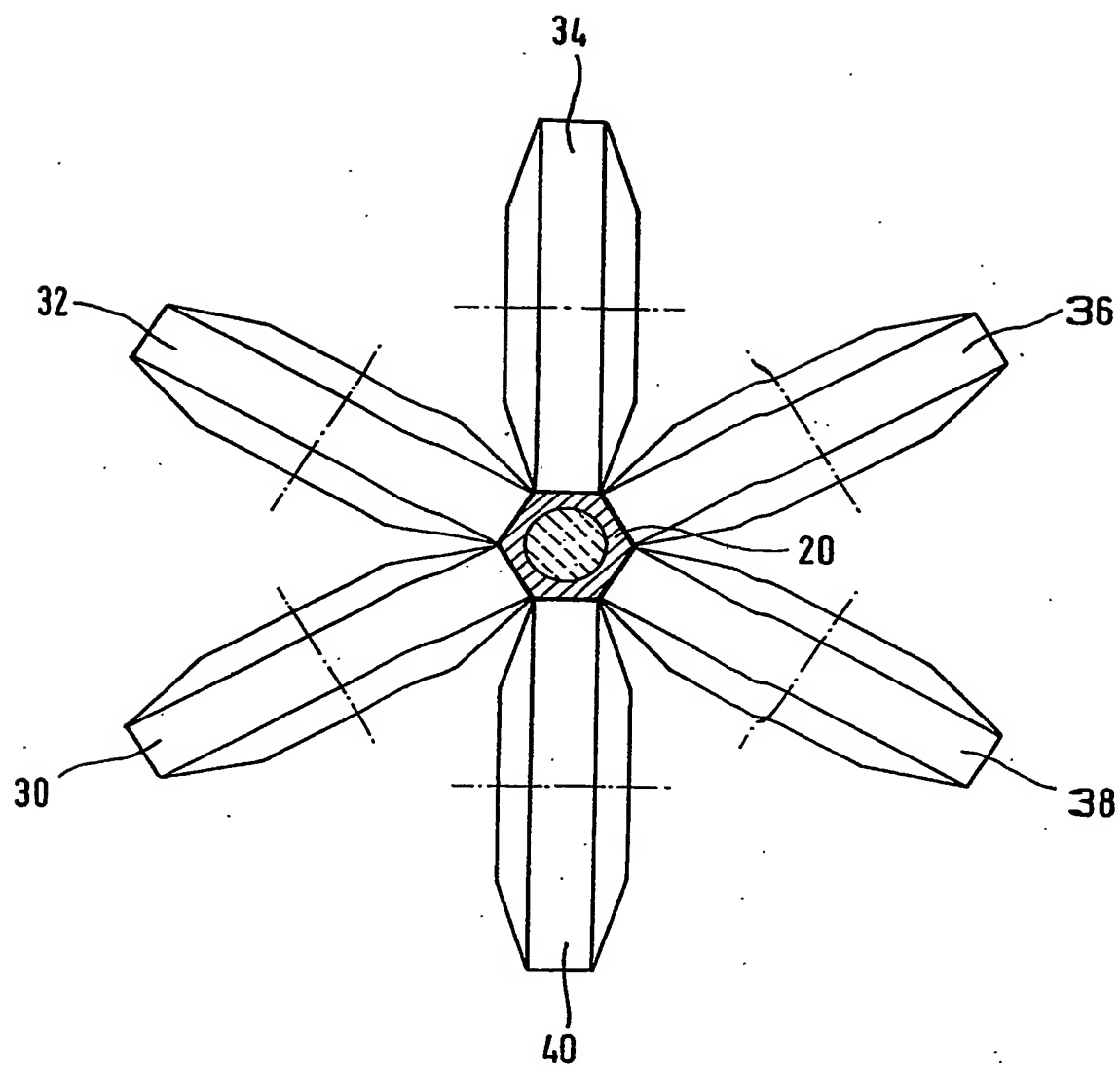


Fig. 5